

Indicadores ambientais em propriedades agrofamiliares: uma análise de componentes principais

Environmental indicators on family farms: a principal component analysis

Romário Nunes da Silva¹; Horasa Maria Lima da Silva Andrade²

DOI: 10.52719/bjas.v7i1.8111

Resumo

Os indicadores de sustentabilidade despontam como avaliadores básicos dos impactos ambientais, utilizando termos e valores que buscam representar efetivamente toda a complexidade da natureza da sustentabilidade ambiental. Considerando a importância do uso de indicadores para alcançar a sustentabilidade, este artigo concentra-se em analisar as possíveis correlações entre os indicadores ambientais por meio da Análise de Componentes Principais (PCA). Os dados utilizados foram provenientes de um estudo realizado com dez famílias agricultoras do Agreste Meridional de Pernambuco, entre os meses de março de 2019 e setembro de 2020. Nessa ocasião, obteve-se a construção de sete indicadores ambientais: Indicador de Recursos Hídricos (IRH), Indicador de Solo (IS), Indicador de Adaptação ao Manejo do Sistema Agroecológico (IANA), Indicador de Autogestão (IA), Indicador de Trabalho e suas Relações (ITR), Indicador de Diversidade (ID) e Indicador de Situação Financeira (ISE). Os dados foram submetidos à Análise de Componentes Principais (PCA), realizada no ambiente do software Statística 10.0®. A análise demonstrou que três componentes principais concentraram características relacionadas ao fator financeiro para a expansão da diversidade agropecuária, ao uso de mão de obra e de tecnologias para a implementação do manejo agroecológico, e ao manejo dos recursos hídricos. Os resultados obtidos evidenciam a facilidade que o PCA oferece para extrair informações relevantes a partir de um determinado volume de dados, possibilitando a discriminação de indicadores ambientais, bem como a identificação dos parâmetros que impactam na média da sustentabilidade.

Palavras-chave: Desenvolvimento Sustentável; manejo agroecológico; PCA.

Abstract

Sustainability indicators emerge as basic evaluators of environmental impacts, using terms and values intended to effectively represent the full complexity inherent to the nature of environmental sustainability. Considering the importance of using indicators to achieve sustainability, this article focuses on analyzing the possible correlations among environmental indicators through Principal Component Analysis (PCA). The data used were obtained from a study conducted with ten farming families in the Southern Agreste region of Pernambuco, between March 2019 and September 2020. On this occasion, seven environmental indicators were constructed: Water Resources Indicator (IRH), Soil Indicator (IS), Adaptation to Agroecological System Management Indicator (IANA), Self-Management Indicator (IA), Labor and Work Relations Indicator (ITR), Diversity Indicator (ID), and Financial Situation Indicator (ISE). The data were subjected to Principal Component Analysis (PCA), performed in the Statística 10.0® software environment. The analysis showed that three principal components concentrated characteristics related to the financial factor for expanding agricultural diversity, the use of labor and technologies for implementing agroecological management, and the management of water resources. The results demonstrate the ease with which PCA allows the extraction of relevant information from a given volume of data, enabling the discrimination of environmental indicators as well as the identification of the parameters that influence the overall sustainability scores.

¹ Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil, romario.nuness@gmail.com

² Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil, horasaa@gmail.com

Keywords: Sustainable development; agroecological management; PCA.

Introdução

O conceito de sustentabilidade ambiental é hoje entendido como multidimensional, integrando aspectos ecológicos, econômicos, sociais e institucionais de modo articulado para assegurar a saúde dos ecossistemas e o bem-estar humano no curto e no longo prazo (Viganó et al., 2023; Sangalli & Strate, 2024). Essa complexidade exige a formulação de indicadores capazes de traduzir os diferentes domínios da sustentabilidade e guiar processos de monitoramento e gestão.

Os indicadores de sustentabilidade, ao traduzirem variáveis socioambientais complexas em métricas quantificáveis, oferecem aos tomadores de decisão meios mais precisos para avaliar estados e tendências do sistema, fornecendo subsídios para ações práticas (Goñi, Lopes, Bahr, Schimitz & Bruch, 2025; Muller, Bulhões & Biondo, 2022).

Com frequência, esses indicadores são agregados em índices compostos para permitir uma avaliação integrada das dimensões da sustentabilidade, abrangendo aspectos econômicos, sociais e ambientais, o que favorece comparações entre diferentes sistemas produtivos (Embrapa, 2023; Goñi et al., 2025). No entanto, mesmo diante do avanço metodológico, ainda persistem desafios significativos relacionados à seleção de indicadores relevantes, à adaptação das ferramentas a realidades locais e à validação teórica e prática das matrizes de avaliação (Muller et al., 2022; Viganó et al., 2023).

Diante dessa lacuna entre o desenvolvimento teórico de indicadores e sua aplicação efetiva na gestão ambiental, este estudo tem como objetivo analisar as correlações entre indicadores ambientais por meio da Análise de Componentes Principais (PCA), identificando os principais eixos de sustentabilidade em propriedades familiares no Agreste de Pernambuco. Essa abordagem contribui para aprimorar a compreensão dos fatores que influenciam a sustentabilidade local e fortalece as bases para práticas de monitoramento mais eficientes.

Metodologia

Os dados utilizados foram provenientes de um estudo realizado com dez famílias agricultoras do Agreste Meridional de Pernambuco (Tabela 1). A Microregião do Agreste Meridional, localizada no estado de Pernambuco, integra a mesorregião do Agreste e é

Brazilian Journal of Agroecology and Sustainability, v. 7, n.1, ISSN 2675-1712

reconhecida por sua posição estratégica entre a Zona da Mata e o Sertão. Essa localização confere ao território características híbridas, tanto naturais quanto socioeconômicas, que fazem do Agreste Meridional um espaço de transição e grande dinamismo regional (IBGE, 2017).

Foi realizado um levantamento de indicadores ambientais para avaliar a sustentabilidade das propriedades. Os indicadores de sustentabilidade compostos (ISC) levantados se basearam nos três pilares centrais da Sustentabilidade (ambiental, econômica e social) e foram resultantes da sistematização dos agroecossistemas com a relação dos atributos, dos pontos críticos e de destaque, do estudo de literatura e da discussão com os produtores.

Foram construídos sete indicadores compostos: Indicador de Recursos Hídricos (IRH), Indicador do Solo (IS), Indicador de Adaptação ao Manejo do Sistema Agroecológico (IANA), Indicador de Trabalho e suas Relações (ITR), Indicador de Autogestão (IA), Indicador de Diversidade (ID) e Indicador de Situação Econômica (ISE).

A mensuração desses indicadores foi realizada através da utilização de parâmetros de avaliação padronizados e os resultados foram expressadas em notas de 1, 2 e 3, sendo: 1 – valor ruim ou indesejável; 2 - valor regular; e 3 – valor ótimo ou desejável. E posteriormente, os indicadores foram aplicados nas propriedades estudadas.

Tabela 1

Valores dos indicadores compostos para os dez agroecossistemas avaliados

	IRH	IS	IANA	ITR	IA	ID	ISE
AG1	2,40	2,20	2,37	2,50	2,50	3,00	2,75
AG2	2,60	2,20	2,37	2,50	2,50	3,00	2,75
AG3	2,00	2,00	2,37	2,50	2,33	3,00	2,50
AG4	2,00	2,00	2,12	2,50	2,33	3,00	2,75
AG5	2,20	2,40	1,87	2,50	2,33	3,00	2,50
AG6	2,40	2,60	2,12	2,50	2,50	3,00	2,25
AG7	2,40	2,60	2,00	2,16	2,33	2,40	2,50
AG8	2,60	2,20	2,00	2,00	2,16	3,00	2,50

AG9	2,60	2,40	2,12	2,16	2,50	2,71	2,25
AG10	2,80	2,00	2,25	2,50	2,50	3,00	2,75

Fonte: Elaboração própria com os dados da pesquisa. Obs. AG= Agroecossistema; IRH=Indicador de Recursos Hídricos; IS= Indicador de Solo; IANA= Indicador de Adaptação ao Manejo do Sistema Agroecológico; ITR= Indicador de trabalho e suas relações; IA= Indicador de Autogestão; ID= Indicador de Diversidade; ISE=Indicador de Situação Econômica

Por meio do software Statistica 10.0® realizou-se a análise dos componentes principais, que teve como objetivo a redução da dimensionalidade do conjunto de dados, sem comprometer os dados originais, conservando o máximo de informações possíveis (Carvalho et al., 2015). Neste estudo, a avaliação dos componentes principais foi realizada nos indicadores ambientais compostos, no intuito de indicar quais têm impactado diretamente na representação da sustentabilidade dos agroecossistemas.

Existem vários critérios para determinar quais componentes devem ser excluídos da análise, através da seleção dos componentes principais que contribuíram de forma mais significativa para a explicação da variação dos dados, no entanto há três critérios principais. No primeiro critério é considerado a proporção da variância explicada por cada componente principal, selecionando as componentes que resultem numa proporção de variância acumulada superior a 70% (Silva, 2018). O segundo critério é o de Kaise e considera a retenção dos componentes principais que apresentem autovalores superiores a um. Segundo Kaiser (1960) *apud* Mardia (1979), este critério tende a considerar poucas componentes quando o número de variáveis originais é inferior a vinte e, normalmente, utiliza-se aquelas componentes que conseguem sintetizar uma variância acumulada aproximadamente a 70%. O terceiro critério é denominado de Scree plot, sendo sugerido por Cattell (1966) e exemplificado por Pla (1986), descreve que devem reter as componentes principais que antecedem o momento em que o declive atenua, ou seja, quando os valores próprios forem próximos entre si e de zero (Silva, 2018).

Resultados e discussão

A partir da Tabela 2, nota-se que os dados projetados em um espaço de sete dimensões

convergem para três componentes principais com maior poder explicativo. PC1, PC2 e PC3, responsáveis por 42,79%, 22,50% e 15,81% da variância, respectivamente, acumulam 81,10% da variabilidade total, o que indica forte capacidade de síntese das informações. A consistência desses componentes é reforçada pelo critério de Kaiser, já que todos os seus autovalores ultrapassam a unidade, e também pelo gráfico Scree Plot (Figura 1), que evidencia o ponto de inflexão após o terceiro componente, conforme descrito por Cattell (1966). A mudança abrupta da inclinação da curva indica que os componentes seguintes capturam apenas ruído estatístico ou variações residuais pouco relevantes para a interpretação do fenômeno estudado. Assim, o uso dos três primeiros componentes principais é justificado tanto estatística quanto conceitualmente.

Tabela 2

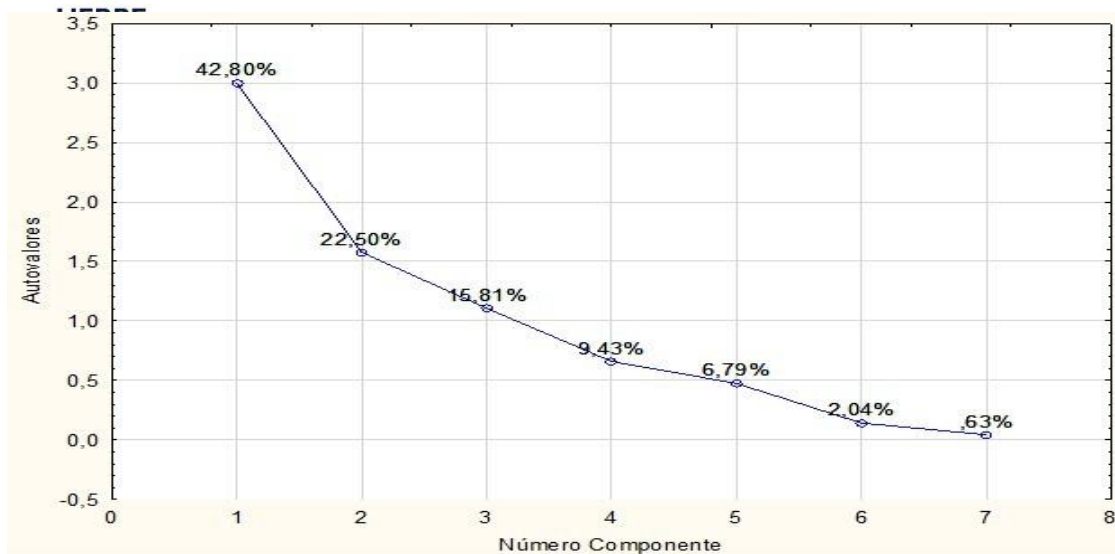
Componentes principais (PC), autovalores e porcentagem da variância explicada e acumulada pelos componentes (% VCP) das características de produção

CPS	Autovalores	VCP (%)	VCP Acumulada (%)
PC1	2,99	42,79	42,79
PC2	1,57	22,50	65,30
PC3	1,10	15,81	81,10
PC4	0,66	9,42	90,54
PC5	0,47	6,79	97,33
PC6	0,14	2,03	99,37
PC7	0,04	0,62	100,00

Fonte: Elaboração própria com os dados da pesquisa. Obs. PC= Componente Principal.

Figura 1

Gráfico Scree Plot com o perfil dos autovalores



Fonte: Elaboração própria com os dados da pesquisa.

A análise da Tabela 3 permite compreender como as variáveis originais se distribuem dentro de cada componente, revelando padrões importantes sobre a dinâmica agroecológica analisada. Para PC1, as variáveis IS, ID e ISE apresentaram cargas fatoriais superiores a 0,6, indicando forte correlação entre qualidade do solo, diversidade produtiva e situação financeira das famílias. Esse agrupamento sugere que a sustentabilidade ambiental está intimamente associada às condições econômicas, o que é coerente com a literatura sobre agricultura familiar, na qual limitações financeiras frequentemente restringem a adoção de práticas conservacionistas e a ampliação da diversificação agropecuária. Em outras palavras, o desempenho produtivo e ecológico tende a ser condicionado por investimentos em correção do solo, ampliação de áreas cultiváveis e manejo diversificado, processos dependentes de capital monetário.

Tabela 3

Contribuição das variáveis na formação da Componente Principal (CP) 1, 2 e 3

VARIÁVEL	CP 1	CP 2	CP 3
IRH	0,013769	0,191327	0,920822
IS	0,939730	0,028544	0,108028
IANA	-0,562010	0,636651	0,082930
ITR	-0,338670	0,690123	-0,576287

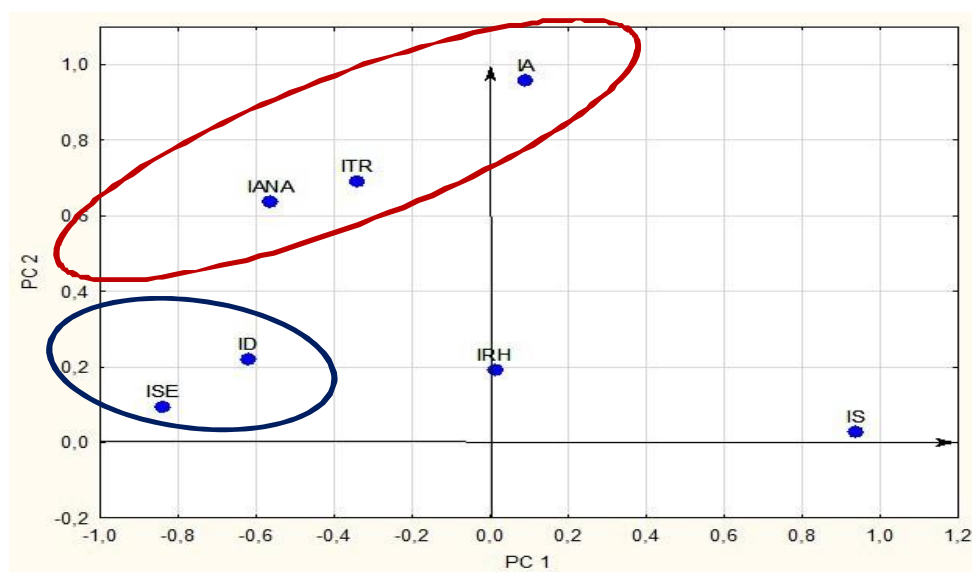
IA	0,092579	0,9581390,200507
ID	-0,617026	0,219551-0,369867
ISE	-0,838901	0,0938640,039223

Fonte: Elaboração própria com os dados da pesquisa. Obs. IRH=Indicador de Recursos Hídricos; IS= Indicador de Solo; IANA= Indicador de Adaptação ao Manejo do Sistema Agroecológico; ITR= Indicador de trabalho e suas relações; IA= Indicador de Autogestão; ID= Indicador de Diversidade; ISE= Indicador de Situação Econômica.

No caso de PC2, destacam-se IANA, ITR e IA, que representam, respectivamente, adaptação ao sistema agroecológico, relações de trabalho e autogestão das atividades produtivas. Esses resultados reforçam a importância da organização interna, da formação técnica e da adoção de práticas agroecológicas como elementos centrais para o fortalecimento da sustentabilidade. A proximidade dessas variáveis no plano fatorial (Figura 2) demonstra que elas formam um núcleo conceitual relacionado ao uso de tecnologias sociais e ao fortalecimento das capacidades de gestão das famílias agricultoras. Esse componente aponta que processos de capacitação, participação social e reorganização do trabalho são essenciais para consolidar sistemas produtivos mais eficientes e resilientes.

Figura 2

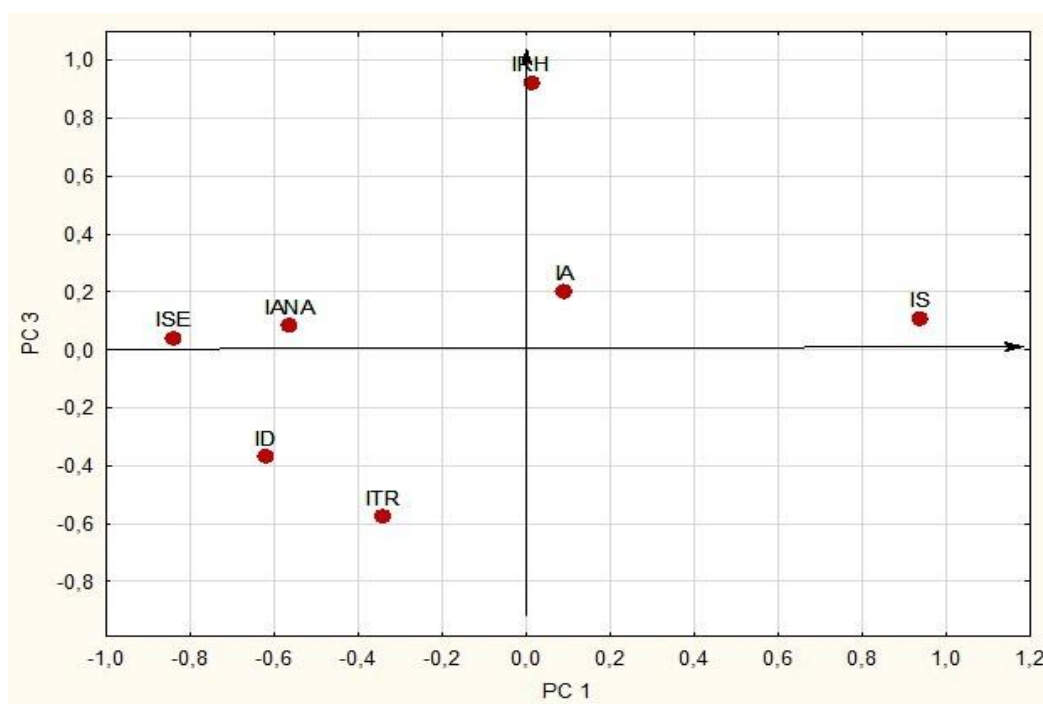
8Relação de loadings entre a componente principal 1 e a componente principal 2



Fonte: Elaboração própria com os dados da pesquisa. Obs. PC= Componente Principal.

Por sua vez, PC3 foi fortemente influenciado pela variável IRH, que se encontra mais afastada da origem no plano fatorial tridimensional (Figura 3). Isso indica que o manejo dos recursos hídricos constitui um eixo independente dentro do conjunto de indicadores analisados, não necessariamente associado às dimensões econômicas ou organizativas representadas pelos dois primeiros componentes. Essa autonomia sugere que a disponibilidade e o uso adequado da água são determinantes específicos da sustentabilidade, sobretudo em regiões semiáridas como o Agreste Meridional. A baixa influência das demais variáveis nesse componente reforça que a gestão hídrica demanda estratégias próprias e não depende diretamente das demais dimensões avaliadas.

Figura 3
Relação de loadings entre a componente principal 1 e a componente principal 3



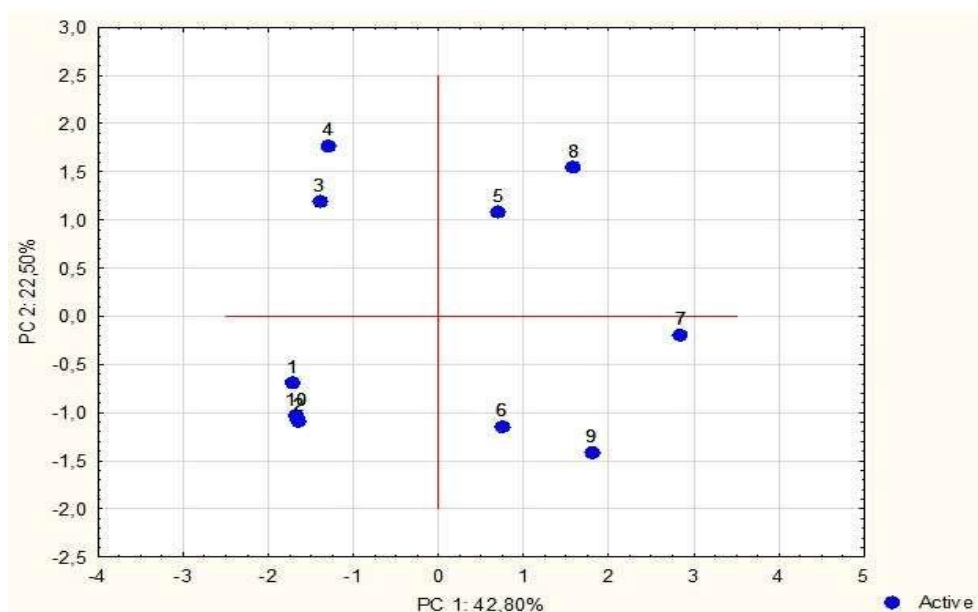
Fonte: Elaboração própria com os dados da pesquisa. Obs. PC= Componente Principal.

Os gráficos de distribuição das amostras (Figura 4) reforçam os padrões identificados, mostrando que as amostras 5 e 6 apresentaram menor influência sobre PC1, enquanto a amostra 7 foi a menos relevante para PC2. Esse comportamento pode indicar heterogeneidade entre as

famílias quanto às condições produtivas, organizativas e ambientais, sugerindo a necessidade de análises complementares que identifiquem particularidades nos sistemas produtivos desses grupos. Tal observação tem implicações práticas para intervenções técnicas, que devem ser sensíveis às diferentes realidades dentro do mesmo território.

Figura 4

Gráfico da distribuição de pontos para as componentes 1 e 2



Fonte: Elaboração própria com os dados da pesquisa. Obs. PC= Componente Principal.

Por fim, a Figura 5 demonstra que não há presença de outliers no conjunto de dados, o que confere robustez aos resultados. A ausência de valores discrepantes significa que a variabilidade capturada pelos componentes principais reflete, de fato, padrões reais do sistema agroecológico analisado, não sendo influenciada por erros de medição ou registros atípicos.

Figura 5

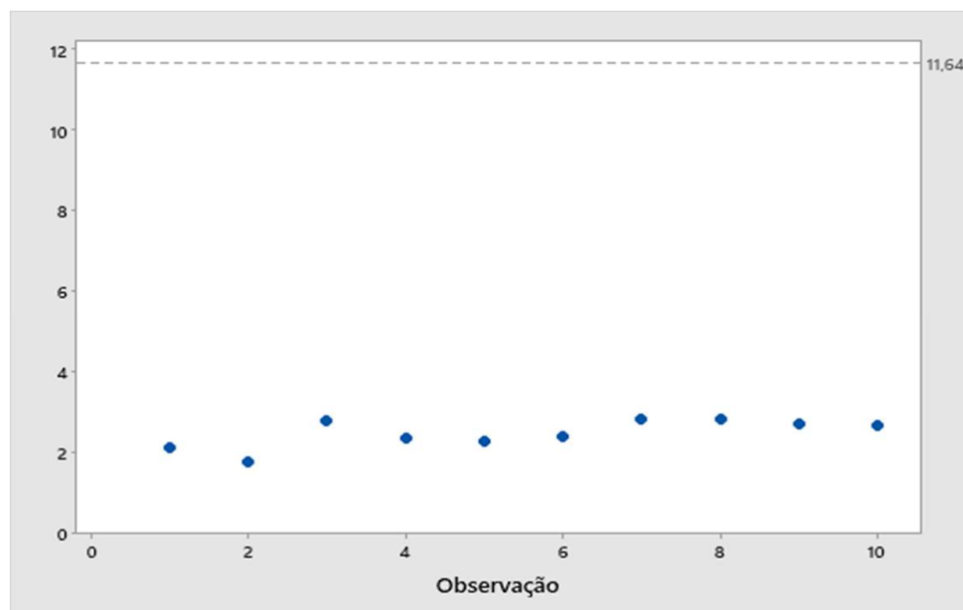


Gráfico de Outlier apresentando a distância de Mahalanohis.

Fonte: Elaboração própria com os dados da pesquisa.

No conjunto, os resultados mostram que a PCA foi eficaz em sintetizar informações complexas sobre os sistemas agrícolas estudados, revelando três eixos centrais da sustentabilidade: um eixo econômico-produtivo (PC1), um eixo organizativo-tecnológico (PC2) e um eixo hídrico-ambiental (PC3). A compreensão dessas dimensões fornece subsídios importantes para orientar políticas públicas, estratégias de manejo e ações de extensão rural voltadas à promoção da agroecologia e da segurança hídrica no Agreste Meridional de Pernambuco.

Considerações finais

A partir da análise de componentes principais, pode-se concluir que os dados apresentaram três componentes principais, os quais se correlacionam entre si. Esses componentes representam, respectivamente, o fator financeiro relacionado à expansão da diversidade agropecuária, o uso de mão de obra e de tecnologias voltadas à implementação do manejo agroecológico, e o manejo dos recursos hídricos. Essas informações podem auxiliar agricultores e tomadores de decisão a compreender como a correlação entre os indicadores influencia a sustentabilidade do agroecossistema.

Os resultados obtidos evidenciam a facilidade com que o sistema multivariado (PCA) permite extrair informações relevantes a partir de um volume expressivo de dados, discriminando indicadores ambientais e identificando os parâmetros que impactam a média da sustentabilidade.

As questões abordadas neste estudo buscam fomentar o debate sobre o tema, contribuindo para futuros trabalhos e ampliando a literatura científica ao fortalecer a compreensão sobre o uso de indicadores ambientais como ferramenta de autogestão em agroecossistemas orientados para a sustentabilidade.

Referências

- Carvalho, F. I. M., Lemos, V. P., Dantas Filho, H. A., & Dantas, K. G. F. (2015). Avaliação da qualidade das águas subterrâneas de Belém a partir de parâmetros físico-químicos e níveis de elementos traço usando análise multivariada. *Revista Virtual de Química*, 7, 2221–2241. <https://doi.org/10.5935/1984-6835.20150132>
- Cattell, R. B. (1966). The scree test for the number of factors. *Multivariate Behavioral Research*, 1(2), 245–276. https://doi.org/10.1207/s15327906mbr0102_10
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária [EMBRAPA]. (2023). *Modelo de avaliação de sustentabilidade para sistemas agrícolas integrados* (Relatório de Pesquisa).
- Goñi, L., Lopes, M., Bahr, G., Schimitz, D., & Bruch, C. (2025). Indicadores de sustentabilidade e a ferramenta IDEA: Um estudo de caso em uma propriedade rural familiar. *Revista Agroecossistemas*.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [IBGE]. (2017). *Divisão regional do Brasil em regiões geográficas imediatas e intermediárias*.
- Mardia, K. V., Kent, J. T. I., & Bibby, J. M. (1979). *Multivariate analysis*. Academic Press.
- Muller, D. F., Bulhões, F. M., & Biondo, E. (2022). Indicadores de sustentabilidade de agroindústrias familiares do Arranjo Produtivo Local (APL) do Vale do Taquari, RS. *Tecno-Lógica*, 26(1), 44–59. <https://doi.org/10.17058/tecnolog.v26i1.17103>
- Pla, L. E. (1986). *Análisis multivariado: Método de componentes principales*. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos.
- Sangalli, A. R., & Strate, M. F. D. (2024). Indicadores de desempenho e multifuncionalidade de sistemas agroflorestais agroecológicos: Biodiversidade, segurança alimentar e saúde sistêmica. *Revista Interdisciplinar em Educação e Territorialidade*, 4(1), 38–61. <https://doi.org/10.30612/riet.v4i1.16592>

Silva, E. R. M., Costa, L. G. S., Silva, A. S., Souza, E. C., & Barbosa, I. C. C. (2018).

Caracterização físico-química, química e quimiométrica de águas subterrâneas dos aquíferos Pirabas e Barreiras em municípios do estado do Pará. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 11(3), 1026–1041.

Viganó, C., Gazolla, M., Gonçalves, L. M., & Godoy, C. M. (2023). Desenvolvimento sustentável na agricultura familiar: Avaliação a partir de indicadores multidimensionais. *Revista Campo-Território*, 18(49), 73–97.

<https://doi.org/10.14393/RCT18496681>